

Ничков А.В., канд.техн.наук, Перфилов А.С., аспирант  
 Научный руководитель Ничков А.Г., проф., д-р техн. наук

## СРАВНЕНИЕ ЧАСТНЫХ И ОБОБЩЕННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНОСА ЧЕРВЯЧНЫХ МОДУЛЬНЫХ ФРЕЗ С ЗАБОРНЫМ КОНУСОМ

В литературе по зубообработке практически отсутствуют функциональные зависимости износа червячных модульных фрез с заборным конусом от конструктивных и технологических параметров зубофрезерования, что не позволяет грамотно конструировать и эксплуатировать инструмент.

Было проведено исследование интенсивности износа червячных модульных фрез с заборным конусом и получены частные и обобщенные зависимости для одной из технологических схем зубофрезерования (фреза и колесо одноименные, подача попутная  $S_0 = 2-6$  мм/об, модуль  $m = 6-10$  мм, число нарезаемых зубьев колеса  $z_1 = 100-200$ , угол наклона зубьев колеса  $\beta_1 = 10-30^\circ$ , число заходов фрезы  $z_{10} = 1$ , число стружечных канавок  $z_0$ , диаметр фрезы  $D_{ф} = 150$  мм, угол заборного конуса  $\Psi = 3-15^\circ$ , расстояние от межосевого расстояния до места сопряжения цилиндрического и конического участков фрезы  $L_1 = 20-60$  мм, скорость резания  $V$ , обрабатываемый материал – сталь 18ХНМА).

Результаты частного исследования интенсивности износа приведены в табл. 1, а обобщенного – в табл. 2 (для  $m = 6$  мм) и 3 (для  $m = 10$  мм), где указаны: номер опыта,  $\Psi$ ,  $L_1$ ,  $z_1$ ,  $\beta_1$ ,  $S_0$ ,  $m$ ,  $h_{иф}$  – фактическая интенсивность износа фрезы,  $h_{ирч}$  – расчетная интенсивность износа, вычисленная по частной формуле (1), полученной после математической обработки (табл. 1),  $h_{иро}$  – расчетная интенсивность износа, вычисленная по обобщенным формулам (2) и (3), полученным после математической обработки табл. 2 и 3 с учетом двойного взаимодействия на износ параметров  $\Psi$ ,  $L_1$ ,  $z_1$ ,  $\beta_1$ ,  $S_0$ .

$$h_{ирч} = 8,399 \cdot 10^{-6} \Psi^{0,976} L_1^{0,35} z_1^{-0,291} s_0^{0,316} (\beta_1 + \pi/2)^{-4,287} m^{1,053} z_{10}^{-0,848} v^{2,48}, \quad (1)$$

$$h_{иро} = 1,447 \cdot 10^{-2} \Psi^{-1,356 + \ln[L_1^{-0,191} z_1^{-0,243} (\beta_1 + \pi/2)^{2,462} s_0^{0,01}]} L_1^{-1,310 + 0,092 \ln z_1} z_1^{-0,114} \times \\ \times (\beta_1 + \pi/2)^{-9,143 + \ln[L_1^{1,912} z_1^{-1,014} s_0^{0,401}]} s_0^{0,409 + \ln[L_1^{0,091} z_1^{-0,122}]} z_0^{-0,848} v^{2,48}; \quad (2)$$

$$h_{иро} = 79,142 \cdot 10^{-2} \Psi^{-1,505 + \ln[L_1^{-0,226} z_1^{-0,244} (\beta_1 + \pi/2)^{2,923} s_0^{0,050}]} L_1^{-2,867 + \ln[z_1^{0,24} s_0^{0,2}]} z_1^{0,013} \times \\ \times (\beta_1 + \pi/2)^{-10,074 + \ln[L_1^{2,960} z_1^{-1,982} s_0^{0,076}]} s_0^{0,388 - 0,179 \ln z_1} z_0^{-0,848} v^{2,48}. \quad (3)$$

Анализ данных табл.1 показал, что результаты расчета интенсивности износа по частной и обобщенным формулам достаточно близки к фактическим (погрешность в основном не более 10%). Однако надо иметь ввиду, что частная формула справедлива только для данного частного случая сочетания парамет-

ров зубофрезерования и узкого диапазона их изменения. Это подтвердилось при анализе табл.2 и 3, для которых расчеты интенсивности износа по обобщенным формулам близки к фактическим (погрешность в основном не более 10%), а по частной формуле отличаются весьма значительно (см. табл.2 опыты 3, 9, 11, 13, 14, 15, 25, 27, 29, 31; табл.3 опыты 9-18, 20-27, 29-32).

Таким образом, обобщенная формула более точно характеризует зависимость интенсивности износа червячной фрезы с заборным конусом от параметров зубофрезерования, что позволяет выбрать их более обоснованными для достижения высокопроизводительной и экономичной операции зубонарезания.

Таблица 1

Результаты расчета интенсивности износа  $h_{иф}$ ,  $h_{ирч}$ ,  $h_{иро}$   
червячных фрез с заборным конусом

№ опыта	$\Psi$ , град	$L_1$ , мм	$Z_1$	$\beta_1 + \pi/2$ , рад	$S_o$ , мм/об	$m$ , мм	$h_{иф} \times 100$	$h_{ирч} \times 100$	$h_{иро} \times 100$
							мм/мин		
1	3	20	150	$\pi/9 + \pi/2$	3	6	0,134	0,128	0,134
2	5	20	150	$\pi/9 + \pi/2$	3	6	0,212	0,210	0,213
3	7	20	150	$\pi/9 + \pi/2$	3	6	0,300	0,292	0,288
4	10	20	150	$\pi/9 + \pi/2$	3	6	0,429	0,413	0,397
5	13	20	150	$\pi/9 + \pi/2$	3	6	0,562	0,534	0,503
6	15	20	150	$\pi/9 + \pi/2$	3	6	0,628	0,614	0,572
7	5	20	150	$\pi/9 + \pi/2$	3	6	0,212	0,210	0,213
8	5	25	150	$\pi/9 + \pi/2$	3	6	0,229	0,227	0,222
9	5	30	150	$\pi/9 + \pi/2$	3	6	0,244	0,242	0,230
10	5	35	150	$\pi/9 + \pi/2$	3	6	0,258	0,256	0,236
11	5	40	150	$\pi/9 + \pi/2$	3	6	0,270	0,268	0,243
12	5	20	100	$\pi/9 + \pi/2$	3	6	0,239	0,236	0,235
13	5	20	125	$\pi/9 + \pi/2$	3	6	0,223	0,222	0,222
14	5	20	150	$\pi/9 + \pi/2$	3	6	0,212	0,210	0,213
15	5	20	175	$\pi/9 + \pi/2$	3	6	0,203	0,201	0,205
16	5	20	200	$\pi/9 + \pi/2$	3	6	0,195	0,193	0,198
17	5	20	150	$\pi/9 + \pi/2$	2	6	0,184	0,185	0,185
18	5	20	150	$\pi/9 + \pi/2$	3	6	0,212	0,210	0,213
19	5	20	150	$\pi/9 + \pi/2$	4	6	0,231	0,230	0,235
20	5	20	150	$\pi/9 + \pi/2$	5	6	0,247	0,247	0,254
21	5	20	150	$\pi/9 + \pi/2$	6	6	0,261	0,262	0,270
22	5	20	150	$\pi/18 + \pi/2$	3	6	0,319	0,316	0,314
23	5	20	150	$\pi/9 + \pi/2$	3	6	0,212	0,210	0,213
24	5	20	150	$\pi/6 + \pi/2$	3	6	0,146	0,145	0,149
25	5	20	150	$\pi/9 + \pi/2$	3	6	0,212	0,210	0,213
26	5	23	150	$\pi/9 + \pi/2$	3	7	0,245	0,259	0,250

27	5	27	150	$\pi/9+\pi/2$	3	8	0,283	0,316	0,287
28	5	35	150	$\pi/9+\pi/2$	3	10	0,362	0,438	0,361

Таблица 2

Результаты расчета интенсивности износа  $h_{\text{иф}}$ ,  $h_{\text{ирч}}$ ,  $h_{\text{иро}}$  червячных фрез с заборным конусом (нарезаемое колесо  $m = 6$  мм,  $10^\circ \leq \beta_1 \leq 30^\circ$ , материал 18ХНМА)

№ опыта	$\Psi$ , град	$L_1$ , мм	$Z_1$	$\beta_1+\pi/2$ , рад	$S_o$ , мм/об	$h_{\text{иф}} \times 100$	$h_{\text{иро}} \times 100$	$h_{\text{ирч}} \times 100$
						мм/мин		
1	15	35	200	$\pi/6+\pi/2$	6	0,683	0,727	0,589
2	5	35	200	$\pi/6+\pi/2$	6	0,222	0,221	0,202
3	15	20	200	$\pi/6+\pi/2$	6	0,651	0,638	0,485
4	5	20	200	$\pi/6+\pi/2$	6	0,188	0,172	0,166
5	15	35	100	$\pi/6+\pi/2$	6	0,753	0,779	0,721
6	5	35	100	$\pi/6+\pi/2$	6	0,288	0,285	0,247
7	15	20	100	$\pi/6+\pi/2$	6	0,664	0,708	0,593
8	5	20	100	$\pi/6+\pi/2$	6	0,237	0,230	0,203
9	15	35	200	$\pi/18+\pi/2$	6	0,808	0,773	1,288
10	5	35	200	$\pi/18+\pi/2$	6	0,376	0,384	0,441
11	15	20	200	$\pi/18+\pi/2$	6	0,810	0,823	1,059
12	5	20	200	$\pi/18+\pi/2$	6	0,343	0,364	0,362
13	15	35	100	$\pi/18+\pi/2$	6	0,780	0,729	1,576
14	5	35	100	$\pi/18+\pi/2$	6	0,431	0,436	0,539
15	15	20	100	$\pi/18+\pi/2$	6	0,836	0,804	1,295
16	5	20	100	$\pi/18+\pi/2$	6	0,405	0,427	0,443
17	15	35	200	$\pi/6+\pi/2$	2	0,475	0,464	0,416
18	5	35	200	$\pi/6+\pi/2$	2	0,134	0,142	0,143
19	15	20	200	$\pi/6+\pi/2$	2	0,451	0,430	0,342
20	5	20	200	$\pi/6+\pi/2$	2	0,111	0,117	0,117
21	15	35	100	$\pi/6+\pi/2$	2	0,488	0,453	0,510
22	5	35	100	$\pi/6+\pi/2$	2	0,176	0,168	0,174
23	15	20	100	$\pi/6+\pi/2$	2	0,433	0,435	0,419
24	5	20	100	$\pi/6+\pi/2$	2	0,133	0,143	0,143
25	15	35	200	$\pi/18+\pi/2$	2	0,545	0,535	0,910
26	5	35	200	$\pi/18+\pi/2$	2	0,286	0,269	0,311
27	15	20	200	$\pi/18+\pi/2$	2	0,559	0,602	0,748
28	5	20	200	$\pi/18+\pi/2$	2	0,281	0,270	0,256
29	15	35	100	$\pi/18+\pi/2$	2	0,404	0,459	1,130
30	5	35	100	$\pi/18+\pi/2$	2	0,268	0,277	0,381
31	15	20	100	$\pi/18+\pi/2$	2	0,558	0,536	0,915
32	5	20	100	$\pi/18+\pi/2$	2	0,308	0,288	0,313

Таблица 3

Результаты расчета интенсивности износа  $h_{\text{нф}}$ ,  $h_{\text{нрп}}$ ,  $h_{\text{нро}}$  червячных фрез с  
заборным конусом (нарезаемое колесо  $m=10$  мм,  $10^\circ \leq \beta_1 \leq 30^\circ$ , материал  
18ХНМА)

№ опыта	$\Psi$ , град	$L_1$ , мм	$Z_1$	$\beta_1 + \pi/2$ , рад	$S_o$ , мм/об	$h_{\text{нф}} \times 100$	$h_{\text{нро}} \times 100$	$h_{\text{нрп}} \times 100$
						мм/мин		
1	15	60	200	$\pi/6 + \pi/2$	6	1,145	1,257	1,219
2	5	60	200	$\pi/6 + \pi/2$	6	0,367	0,364	0,417
3	15	35	200	$\pi/6 + \pi/2$	6	1,084	1,044	1,009
4	5	35	200	$\pi/6 + \pi/2$	6	0,303	0,264	0,345
5	15	60	100	$\pi/6 + \pi/2$	6	1,303	1,374	1,491
6	5	60	100	$\pi/6 + \pi/2$	6	0,488	0,479	0,510
7	15	35	100	$\pi/6 + \pi/2$	6	1,140	1,248	1,235
8	5	35	100	$\pi/6 + \pi/2$	6	0,384	0,380	0,423
9	15	60	200	$\pi/18 + \pi/2$	6	1,408	1,344	2,663
10	5	60	200	$\pi/18 + \pi/2$	6	0,662	0,698	0,911
11	15	35	200	$\pi/18 + \pi/2$	6	1,451	1,494	2,205
12	5	35	200	$\pi/18 + \pi/2$	6	0,626	0,679	0,755
13	15	60	100	$\pi/18 + \pi/2$	6	1,267	1,144	3,258
14	5	60	100	$\pi/18 + \pi/2$	6	0,712	0,716	1,115
15	15	35	100	$\pi/18 + \pi/2$	6	1,462	1,391	2,698
16	5	35	100	$\pi/18 + \pi/2$	6	0,723	0,761	0,923
17	15	60	200	$\pi/6 + \pi/2$	2	0,737	0,746	0,861
18	5	60	200	$\pi/6 + \pi/2$	2	0,213	0,232	0,295
19	15	35	200	$\pi/6 + \pi/2$	2	0,727	0,698	0,713
20	5	35	200	$\pi/6 + \pi/2$	2	0,177	0,189	0,244
21	15	60	100	$\pi/6 + \pi/2$	2	0,820	0,712	1,054
22	5	60	100	$\pi/6 + \pi/2$	2	0,285	0,267	0,361
23	15	35	100	$\pi/6 + \pi/2$	2	0,723	0,728	0,873
24	5	35	100	$\pi/6 + \pi/2$	2	0,219	0,238	0,299
25	15	60	200	$\pi/18 + \pi/2$	2	0,863	0,810	1,882
26	5	60	200	$\pi/18 + \pi/2$	2	0,493	0,452	0,644
27	15	35	200	$\pi/18 + \pi/2$	2	0,923	1,014	1,558
28	5	35	200	$\pi/18 + \pi/2$	2	0,510	0,495	0,533
29	15	60	100	$\pi/18 + \pi/2$	2	0,476	0,602	2,302
30	5	60	100	$\pi/18 + \pi/2$	2	0,389	0,404	0,788
31	15	35	100	$\pi/18 + \pi/2$	2	0,876	0,824	1,907
32	5	35	100	$\pi/18 + \pi/2$	2	0,531	0,484	0,653